

ESTUDI DELS MOTORS DE QUATRE TEMPS

Juan Luis Florenciano.

Col·legi Badalonès. Tutor: S. Cambray.

ESTRUCTURA I FUNCIONAMENT DELS MOTORS DE QUATRE TEMPS

Els motors tèrmics transformen l'energia calorífica del combustible en energia mecànica, aprofitant la força expansiva dels gasos inflamats a l'interior d'un cilindre, que és recollida per l'arbre motor, el gir del qual es transmet a les rodes que donen impuls al vehicle.

Mitjançant el procés de combustió desenvolupat al cilindre, l'energia química continguda en el combustible és transformada primer en energia calorífica i seguidament en energia mecànica. Els motors d'aquestes característiques són anomenats de "combustió interna", ja que el combustible es crema en el seu interior. Dins d'aquest grup podem diferenciar els que s'encenen per espurna (motors d'explosió) i els que s'encenen per compressió (motors de combustió o dièsel). [...]

MILLORES EN EL RENDIMENT D'UN MOTOR DE QUATRE TEMPS

És evident que tota màquina tèrmica o mecànica, sigui quina sigui l'energia que utilitza, no pot transformar íntegrament tota l'energia subministrada en treball útil. Hi ha un seguit de pèrdues d'energia en la transformació, que poden classificar-se en dos grups.

- Pèrdues tèrmiques (refrigeració i escapament)
- Pèrdues mecàniques (fregament dels elements en moviment, rodaments...) que engendren una calor que cal dissipar.

Així doncs per tal de millorar el rendiment d'aquests motors parteixo de la hipòtesi que caldrà disminuir al màxim les pèrdues energètiques. Per tant, les variacions que es plantegen en aquest treball són de dues menes:

- Variacions a la cambra de combustió i al cilindre.
- Variacions en els elements dinàmics (cigonyal, bieles, etc.)

VARIACIONS A LA CAMBRA DE COMBUSTIÓ I AL CILINDRE

Des d'un punt de vista tèrmic, la part d'energia subministrada al motor que no apareix en forma de treball mecànic es perd en forma de calor. Suposem un motor que està funcionant i observem què li passa a un cilindre:

Expansió: Com que la combustió es produeix en un temps molt curt, podem admetre que tota la calor s'utilitza per elevar la temperatura i per tant la pressió dels gasos. El pistó descendeix empès per aquesta pressió, cosa que permet la dilatació del gas; però durant aquest període de temps hi ha un intercanvi de calor entre els gasos, i s'arriba a una temperatura d'uns 2.000°C; les parets del cilindre estan aproximadament a 100°C. Aquest intercanvi és més important com més creixen les diferències de temperatura entre els temps de duració.

Escapament: Abans d'acabar aquesta cursa, la vàlvula d'escapament s'obre i els gasos surten a l'exterior. Al començament d'aquest temps els gasos posseeixen una temperatura força elevada, perquè només han cedit calor per expansió i per pèrdua a través de les parets. La resta de l'energia es perd en el transcurs d'aquesta cursa.

Per a reduir aquesta pèrdua al mínim, cal refredar els gasos el màxim possible, però d'una manera útil, ja que la pèrdua és la mateixa si la calor és dissipada pels gasos a l'atmosfera o bé cedida a les parets. La manera útil de refredar-los és augmentar la cursa d'expansió.

L'escapament influeix, a més, d'una altra manera sobre el rendiment. Aquesta influència no es tradueix en una pèrdua de calor, sinó en una disminució de l'energia cinètica de l'èmbol. En retroce-

dir aquest en la seva cursa, ha de vèncer la contrapressió que es produeix al cilindre i al tub d'escapament, d'on es dedueix que cal disminuir la contrapressió al mínim.

Aspiració: Durant aquest temps, igual que al d'escapament, l'energia cinètica de l'èmbol disminueix cada vegada que aquest ha de vèncer la depressió que hi ha al cilindre, de manera que, com en el pas d'escapament, la depressió ha de ser mínima.

D'altra banda, en posar-se el gas en contacte amb les parets calentes del cilindre, augmenta la temperatura, amb la qual cosa s'ha de procurar afavorir l'escalfament, prolongant-lo el màxim possible. Com que no es factible augmentar la cursa d'aspiració ni refredar massa les parets del cilindre, cal escalfar el gas abans no entri al cilindre.

Compressió: El treball emprat a comprimir el gas abans de la combustió redueix el treball disponible. Tot i això, per a augmentar el rendiment no cal disminuir la compressió, sinó no tot el contrari. Per una part, el gas s'escalfa en ésser comprimit i aquesta energia apareix durant el període útil del cicle. D'una altra banda, és evident que al final de la compressió interessa obtenir una pressió tan elevada com sigui possible, i és més elevada com més gran sigui la quantitat de combustible cremada al recinte, i com més gran sigui la relació de compressió per a una mateixa quantitat de combustible. Per a concentrar sobre l'èmbol una gran massa de gasos explosius, n'hi haurà prou d'adoptar una compressió elevada.

Encesa: Finalment, per a obtenir una combustió ràpida, que tingui com a resultat una elevada pressió final, l'encesa ha d'ésser intensa.

En resum, les condicions requerides per a obtenir un rendiment elevat són:

- Mantenir els cilindres a elevada temperatura.
- Reduir la duració de l'expansió.
- Disminuir la superfície de les parets.
- Augmentar la cursa d'expansió.
- Reduir al màxim la contrapressió en el temps d'escapament.
- Reduir al màxim la depressió en el temps d'aspiració.
- Escalfar el gas abans d'introduir-lo al cilindre.
- Adoptar una compressió elevada.
- Emprar una encesa intensa.

Des d'un punt de vista mecànic, les variacions a la cambra de combustió i al cilindre només es poden originar per les modificacions de les dimensions d'aquest.

Les dimensions dels cilindres d'un motor es defineixen pel seu diàmetre interior (també anomenat calibre) i per la cursa de pistó, ambdós expressats generalment en mil·límetres. Fins l'any 1960, la major part dels motors eren fabricats amb cilindres de cursa relativament més gran que el diàmetre (motors allargats); però avui dia es tendeix a curses més curtes que el calibre. Els motors d'aquestes característiques s'anomenen superquadrats. Quan el calibre i la cursa del cilindre d'un motor són iguals, reben el nom de quadrats. [...]

Tenint en compte que per aconseguir un cert volum del cilindre només és possible treballar amb el calibre i amb la cursa, hi ha diverses raons per les quals es construeixen els motors d'una manera o d'una altra. Als motors de cilindrades petites o mitjanes, els del tipus quadrat o superquadrat ofereixen els següents avantatges:

a. Més potència del motor per a un mateix volum del cilindre, ja que aquesta augmenta amb el quadrat del calibre i només amb exponent fi de la cursa segons la fórmula:

$$V = \frac{D^2 C}{4} \quad \text{on } D \text{ significa el diàmetre i } C \text{ la cursa.}$$

b. Possibilitat de col·locar vàlvules més gran a la culata, que millorin l'ompliment del cilindre de gasos frescos i l'evacuació dels cremats.

c. Bieles més curtes i per tant més rígides.

d. Disminució del fregament entre el pistó i el cilindre a causa d'un circuit menor, al mateix temps que decreix també la velocitat mitjana del pistó. D'altra banda, una cursa menor redueix la inèrcia i les càrregues (degudes a la força centrífuga) que suporten els coixinets.

- e. Colzes del cigonyal menys sortints, de manera que aquest resulta més rígid, al mateix temps que es redueixen les forces d'inèrcia.
- f. Reducció de les forces centrífugues alternes, cosa que confirma a la pràctica que aquest avantatge supera els inconvenients de més pes dels òrgans en moviment.

D'altra banda, els motors allargats presenten més avantatges, dels quals cal destacar:

- a. S'aconsegueix una forma més reduïda, i per tant de més rendiment de la cambra de compressió.
- b. L'augment de la cursa del pistó proporciona més temps per a la combustió de la barreja, que per aquesta raó es realitza de manera més perfecta, i es produeixen menors residus de gasos tòxics.
- c. Més capacitat de dissipació de calor a causa de la major relació superfície / volum del cilindre.

Des d'un punt de vista teòric, la combustió en un motor d'explosió es produeix a volum constant, és a dir, que amb l'aparició de l'espurna al cilindre quan aquest es troba fortament comprimit, la barreja s'inflama i es propaga a gran velocitat per la cambra. Podem considerar, doncs, que la combustió és instantània. D'una altra banda, la combustió en un motor dièsel es produeix a pressió constant, és a dir que el valor de la pressió a cada instant de la cursa d'expansió és el mateix gràcies als injectors que subministren la quantitat adequada de combustible a cada moment. Així s'aconsegueix una força d'empenyiment de l'èmbol constant. Això és possible gràcies a les característiques del motor dièsel que no requereix una espurna per iniciar la combustió sinó que aquesta es produeix espontàniament quan el combustible fred és injectat a la cambra de combustió i entra en contacte amb l'aire comprimit per l'èmbol a alta temperatura. [...]

Una vegada exposades les característiques essencials d'una cambra de combustió, es planteja el següent exemple per tal de demostrar de forma numèrica les millores en el rendiment.

Suposem dos motors d'explosió de la mateixa relació de compressió 9:1 d'un volum de 400 cm³ de cilindre unitari, on es desenvolupa una pressió inicial en tots dos sobre la superfície del pistó de 30 kg/cm².

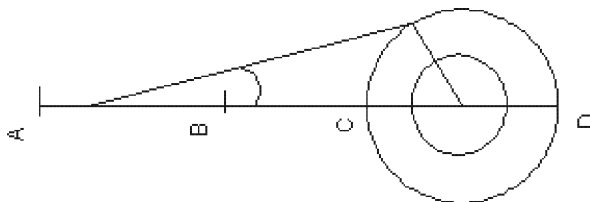
El primer cilindre és del tipus allargat, amb una cambra de combustió ideal i amb les dimensions del pistó següents: calibre = 50 mm i cursa = 200 mm.

El segon cilindre del tipus quadrat, amb una cambra de combustió del mateix tipus que la del motor anterior i amb les dimensions següents: calibre = 79,577 mm i cursa = 80 mm.

És evident que si es fan càlculs es veu clarament que tots dos casos comporten un volum o cilindrada aproximada de 400 cm³. I que per tant perquè hi hagi una relació de compressió de 9:1 el volum de la cambra de compressió ha de ser de 50 cm³.

VARIACIONS EN ELS ELEMENTS DINÀMICS:

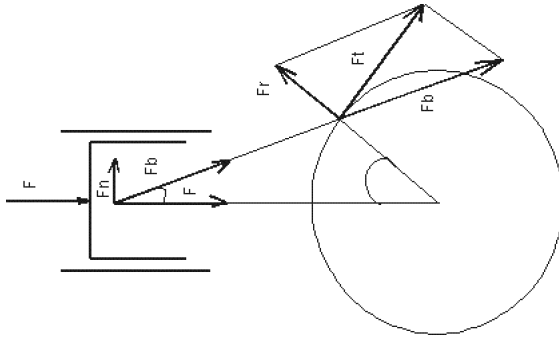
*El moviment alternatiu del pistó que es produeix al cilindre es transforma en circular continu del cigonyal, mitjançant el mecanisme de biela - maneta. Mentre l'èmbol es desplaça d'A a B en moviment rectilini, el colze del cigonyal ho fa de C a D en moviment circular. Analitzant la figura pot deduir-se que a A i B (punts morts), la velocitat canvia de sentit passant pel valor zero. Si considerem que la velocitat de rotació de l'eix O és constant, la de l'èmbol resulta variable, passant d'un moviment accelerat a un altre de retardat, que depèn de la posició del colze del cigonyal, és a dir, de l'angle α i B que, a la vegada, té una estreta relació amb les longituds de la biela i la maneta.



L'acció combinada de les forces d'inèrcia i la pressió del gas que actuen sobre el cap del pistó donen una resultant F , aplicada a l'eix del pistó, que a la vegada es descompon en dues: una F_b aplicada a la biela seguint la inclinació d'aquesta, i una altra F_n normal a la paret del cilindre, que resulta més gran com més obert sigui l'angle β i és causa del fregament del pistó contra la paret del cilindre, com ja s'ha vist. [...]

La força F_b es transmesa per la biela al colze del cigonyal i dona lloc al moment motor M , el valor del qual s'obté multiplicant la força per la distància d al punt d'aplicació.

$$M = F_b \cdot d$$



Observant la figura es dedueix que per $\beta = 0^\circ$ i $\beta = 180^\circ$ el par motor és nul, car F_n , F_b i F tenen la mateixa direcció, és a dir són perpendiculars a l'eix del cigonyal i el braç d'aplicació de la força és nul, amb la qual cosa s'anul·la el par. El par motor és màxim quan F_b és tangent a la circumferència que descriu el colze del cigonyal i per tant la distància d entre l'eix de gir i el punt d'aplicació de la força i el radi són la mateixa. Així mateix, l'angle que forma la força F_b i el radi és de 90° .

Tenint en compte les consideracions exposades, podem dir que el rendiment mecànic es millora reduint la F_n (força aplicada contra les parets). Això s'aconsegueix augmentant al màxim la distància entre el cap de la biela i l'eix de gir. El raonament és el següent: per a un mateix colze de cigonyal o radi (catet r) i una nova distància d (catet d) més gran, es forma un nou triangle ABC amb un angle β màxim més agut, cosa que comporta una F_n més petita i per tant una fricció també més petita.

D'altra banda aquesta modificació comporta un braç de biela més gran amb les complicacions que això implica (augment de les vibracions i més fragilitat dels elements)

Per exemplificar numèricament aquesta hipòtesi considerarem el cas2 de l'exemple de l'apartat anterior, en el qual el pistó estava sotmès a una força inicial de 14.637'1 N i tenia una cursa de 80 mm. Demostrem com varia la F_n en les mateixes condicions de cursa amb dues bieles diferents.

Suposem que per tots dos casos s'ha produït un quart de gir del cigonyal i, per tant, el colze del cigonyal r forma un angle de 90° amb la vertical (eix del cilindre). El fet que s'hagi produït un quart de volta de cigonyal implica que l'èmbol es trobi a la meitat de la seva cursa descendent i, per tant, hagi recorregut 4 cm.

Si la cursa és de 8 cm, el colze del cigonyal (r) d'ambdós casos no podrà ser igual si es vol realitzar una volta sencera de cigonyal aprofitant tota la cursa.

El primer cas està constituït per una biela b de 11 cm i el segon cas està format per una altra biela de 13 cm.

Primer de tot calcularem els colzes respectius als dos casos sabent les longituds de les bieles i la distància d inicial entre l'eix de gir i l'èmbol en el punt màxim superior.